BEITRAG
ZUR KENNTNIS DER SPITZENENTLADUNG AUS EINEM TESLAPOLE.

INAUGURAL-DISSERTATION

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

LANDESUNIVERSITÄT ZU ROSTOCK

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

VORGELEGT

VON

EMIL KNOBLAUCH
AUS BERLIN.

ACAD.
LUGDBAT.
BIBL.

LEIPZIG,
JOHANN AMBROSIUS BARTH.
1901.

Referenten: { Herr Prof. Dr. L. Matthiessen,
Herr Prof. Dr. R. Wachsmuth.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

MEINEN ELTERN.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549202_0185

Versuche mit den nach Tesla benannten Hochfrequenzwechselströmen haben gezeigt[1]), dass derartige Ströme, zu einer feinen Metallspitze geführt, eine dieser gegenüberstehende isolirt aufgestellte Metallplatte in Luft in näherer Entfernung stets positiv laden, während in grösserem Abstande die Platte stets negative Ladung zeigt.

In der einschlägigen Litteratur[2]) werden zur Erklärung dieser höchst merkwürdigen Erscheinung verschiedene Meinungen ausgesprochen, sodass zur weiteren Aufklärung auf Veranlassung von Hrn. Prof. Wachsmuth die vorliegende Arbeit[3]) unternommen wurde.

Die Erscheinung setzt zunächst voraus, dass sowohl positive wie negative Elektricität aus der Spitze eines Teslapoles ausströmt, und dass, wie Hr. Himstedt in seiner Arbeit angiebt, die negative Elektricität eine grössere Fortpflanzungsgeschwindigkeit besitzen kann als die positive; ferner tritt die positive Elektricität in der Nähe in grösseren Mengen auf, während in weiterem Abstande die negative die Platte allein erreicht.

Um nun ein klares Bild von diesen Entladungserscheinungen erhalten zu können, wurde zuerst genau untersucht, in welchem Verhältnis das an der Spitze gemessene Potential zu dem der in verschiedenen Entfernungen aufgestellten Metallplatte steht. Ferner wurden eingehendere Versuche über den Grund der Umkehr des Ladungssinnes gemacht, indem mit verschiedenartig gestalteten Platten experimentirt wurde. Mit gutem Er-

---

1) F. Himstedt, Wied. Ann. **52.** p. 473. 1894; **68.** p. 294. 1899.

2) K. Wesendonck, Naturw. Rundsch. **10.** p. 401. 1895; A. Pflüger, Wied. Ann. **60.** p. 768. 1897.

3) Eine kurze Uebersicht der Hauptresultate der vorliegenden Arbeit erschien in der Physikalischen Zeitschrift 2. Jahrgang Nr. 11 p. 165—166. 1900.

folge ist dann die Methode der Lichtenberg'schen Figuren in später näher zu beschreibender Weise angewendet worden.

Zur Erzielung der Hochfrequenzströme wurde während des ganzen Verlaufes der Arbeit die symmetrische Teslaanordnung gewählt, die auch Hr. Himstedt in seiner Arbeit anwandte (Fig. 1).

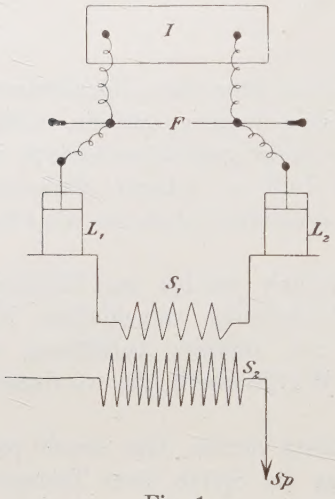


Fig. 1.

J Inductorium. *F* Funkenstrecke. L_1 und L_2 Leydener Flaschen. S_1 und S_2 primäre und secundäre Teslaspule. *Sp* strahlende Spitze.

Das Siemens'sche Inductorium wurde bei einer Betriebsspannung von 110 Volt mit Maschinenstrom von 3—4 Amp. gespeist. Ein mit Zinkstäben versehenes Funkenmikrometer diente als Funkenstrecke; das knatternde Geräusch der letzteren war bei etwa 17 mm Funkenlänge am stärksten, und die Ausstrahlung der Teslaspitze gab bei dieser die regelmässigsten Resultate. Zur Vermeidung des Ausbleibens der Funkenstrecke mussten die Zinkstäbe einer öfteren Reinigung unterzogen werden.

Die zu allen Versuchen benutzte Spitze war fest montirt in Hartgummi und auf einem mit Millimeterteilung versehenen Brett verschiebbar befestigt; die Spitze bestand aus einer in einen Messingdraht eingelöteten Stahlstecknadel; die Platte war isolirt auf dem Brettchen ihr gegenüber aufgestellt.

Bei den ersten Versuchen wurde sowohl Spitze wie Platte mit je einem statischen Voltmeter in Verbindung gebracht, dessen Ausschläge durch Umwechseln controllirt werden konnten. Eine genaue Ablesung an den Voltmetern zu erreichen, ist nicht leicht, und die Versuchsergebnisse sind mit Sicherheit schwer festzustellen gewesen; einerseits entstehen leicht durch momentanes Aussetzen der Funkenstrecke unregelmässige Ausschläge, andererseits setzte auch öfters durch die Spannungsschwankungen in der Centrale der Unterbrecher des Inductoriums

aus. Um tadellose Resultate zu erhalten, musste ja nach den von Himstedt und anderen gemachten Erfahrungen die Spitze dauernd strahlen, um einen constanten Potentialwert zu erhalten; ferner musste aber auch die Ablesungszeit nach Möglichkeit gekürzt werden, da, wie auch schon gezeigt wurde, eine dauernd strahlende Spitze von ihrem Anfangspotential allmählich etwas einbüsst.

Messungen wurden wegen der schwankenden Werte zahlreich ausgeführt, und mit einiger Uebung gelingt es, die erhaltenen Resultate übereinstimmend zu bekommen.

In der nachstehenden Tabelle bedeutet a den Abstand Spitze-Platte in Millimetern; v_1 das Spitzen-, v_2 das Plattenpotential. In diese Tabelle sind zwei Werte von v_1 und v_2, und von v_1' und v_2' eingereiht, die bei verschieden eingestellter Funkenstrecke erhalten und zum Vergleich nebeneinander gestellt wurden. Die Zahlen unter v_1, v_2, v_1' und v_2' bilden den absoluten Wert der Spannung in Volts $\times 10^2$, wie er an den Messinstrumenten abgelesen wurde.

v_1	v_2	v_1'	v_2'	a	v_1	v_2	v_1'	v_2'	a
1	1	3,4	3,4	0	8	7,1	7	7	17
1	1	3,2	2,4	1	8	7	7	6,7	18
1	2	4	3	2	8	6,8	7	6,2	19
0,2	1,7	4	2,8	3	8	6,5	7	5,9	20
0,1	1,5	3	2,8	4	8	6,2	7	5,5	21
0,1	1,2	2,5	2,2	5	8	6,3	7	5	22
0,2	1,7	2,2	1,7	6	8	5,8	7	4,4	23
1	1,8	2,2	1,8	7	8	5	7	3,7	24
1,2	1,4	2,7	2	8	8	4,6	7	3,2	25
1,8	1,8	2,7	2	9	8	3,8	7	2,8	26
2,3	2,8	2,7	2,7	10	8	3	7	2,2	27
4,5	5	3	2,8	11	8	2,1	7	1,6	28
8,5	7	6	7	12	8	1,8	7	1,4	29
9	7,5	9	8,7	13	8	1,4	7	1,4	30
8	7,7	8,5	8	14	8	1,2	7	1,2	35
8	7,2	8	7,7	15	8	0,8	7	0,5	40
8	7,2	7,5	7,5	16					

Auf der dann folgenden Skizze (Fig. 2) findet man Platten- und Spitzenpotential in Volts als Function des Plattenabstandes

aufgetragen. Es ist dabei zu bemerken, dass das augenscheinlich plötzliche Maximum bei beiden Curven an der Stelle eintritt, an der das directe Funkenspiel Spitze-Platte erlischt. Es erreichen an dieser Stelle beide Potentiale ihren maximalen Wert, und, während das Spitzenpotential constant bleibt, klingt das Plattenpotential allmählich ab.

Der Verlauf der Curve des Spitzenpotentials erklärt sich vielleicht so, dass beim Funkenspiel die auf der Spitze angesammelte Elektricitätsmenge einen hohen Spannungswert nicht erreichen kann, da fortdauernd durch die Funken eine heftige

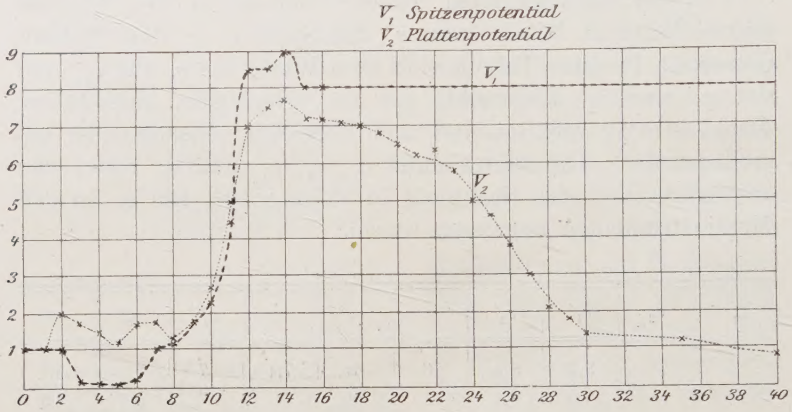


Fig. 2.

Entladung eintritt. Klingt dagegen das Funkenspiel allmählich ab, so treten natürlich Maximalwerte auf, da nun die Spitze immer so lange geladen wird, bis die Ausstrahlung aus ihr an die Luft erfolgen kann. Interessant ist nun, dass auch das Plattenpotential in demselben Augenblick seinen Maximalwert erreicht, wie das der Spitze. Man muss daher annehmen, dass die strahlende Elektricität im Gegensatz zu dem Funkenübergang auf der Platte gewissermassen einen Ansammlungswert der Spannung bewirkt, der natürlich an der Stelle unmittelbar hinter dem Aufhören des Funkenspiels seinen Maximalwert erreichen muss.

Eigentümlich und unerklärt bleibt aber der Abfall des Spitzenpotentials sofort hinter seinem Maximum auf den dann dauernd constant bleibenden Wert.

Genauere Messungen mit den Voltmetern auszuführen, war leider nicht möglich, da dieselben nur bis 100 Volt hinabgehen. Als Maximalwert des Plattenpotentials konnte bei passender Regulirung der Funkenstrecke im 14 mm-Abstande Spitze-Platte eine Spannung von 3800 Volt gemessen werden.

Zu den folgenden Untersuchungen wurde ein Thomsonsches Quadrantenelektrometer benutzt, welches durch Verlängerung der bifilaren Aufhängung möglichst empfindlich gemacht war; durch sorgfältige Reinigung der Isolation der Quadrantenpaare wurde eine dauernde Nulllage gesichert.

Der Nadel wurde mit einer Zamboni'schen Säule hohe Ladung zugeteilt, ein Quadrantenpaar zur Erde abgeleitet, das andere mit der Platte verbunden.

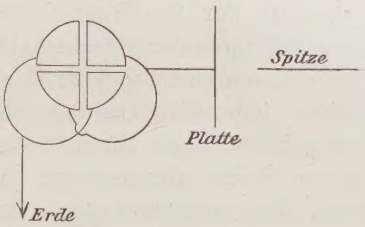


Fig. 3.

Durch Projection eines im Spiegel des Instrumentes aufgefangenen Glühlampenfadens auf eine Scala wurde eine Beobachtung der Ausschläge unter gleichzeitiger Verschiebung der Spitze ermöglicht, sodass man ohne Gehülfen die Ausschläge des Spiegels beobachten konnte.

Die in der Arbeit von Hrn. Himstedt gefundene Umkehr der positiven in die negative Ladung wurde in sicherer Weise erhalten; die Versuche gelangen sogar mit Hülfe eines Bohnenberg'schen Elektroskops in der einfachsten Weise. Der leerlaufende Teslapol lag hierbei nicht unter Oel, sondern etwas abgebogen frei in der Luft; Störungen dadurch konnten nicht beobachtet werden.

Am besten lassen sich diese Experimente ausführen, wenn man bei etwa 6 cm Spitzenabstand mit der Strahlung beginnt, dann vorsichtig und langsam die Spitze der Platte nähert. Man kann deutlich beobachten, wie bei etwa 4 bis

5 cm Abstand die Nadel des Instrumentes in lebhafte Zuckungen gerät, einmal positive, einmal negative Ladung zeigen will, um dann nach positiver Seite definitiv auszuschlagen.

Der nächstliegende Gedanke war nun, zu untersuchen, ob zwischen der Plattengrösse und dem Sinn der Ladung irgend ein Zusammenhang besteht. Zu diesem Zweck wurden Platten von 18, 8, 3 und 1 cm Durchmesser hintereinander angewendet; es zeigte sich aber immer dieselbe Erscheinung; die neutrale Zone, wenn man die Stelle so nennen kann, bei der die Ladung weder ausgesprochen positiv noch negativ ist, lag stets an derselben Stelle und die erste positive Ladung konnte stets bei dieser Versuchsanordnung bei 40—42 mm festgestellt werden.

Ein jetzt im abgedunkelten Experimentirzimmer angestellter Versuch zeigte, dass in der Entfernung von 40 mm gerade noch aus der Spitze Glimm- oder Büschelentladungen auf die Platte übergingen, und man kam nun zu der Annahme, dass hierdurch die Platte ihre positive Ladung erhalten muss.

Wenn es jetzt gelänge, diese Büschelentladungen zu verhindern, direct auf die Platte überzugehen, so könnte es vielleicht möglich sein, die negative Ladung auch bei näherer Entfernung dauernd auf einer Platte zu erhalten. Um dies nun zu erreichen, wurden Versuche mit kreisrund ausgeschnittenen Zinkplatten angestellt.

Fig. 4.

Die Zinkplatten hatten einen Durchmesser von 18 cm und enthielten Ausschnitte von 11 (10 . . . bis 2 cm herab) Durchmesser (Fig. 4).

Jetzt gelang es nun thatsächlich, eine Platte mit nur negativer Ladung zu versehen. Im Dunkeln kann man deutlich sehen, dass dann auch keine Büschelentladungen direct auf die Platte mehr übergehen, sondern der Strahlenbüschel befindet sich in dem Ausschnitt der Platte; es scheint also aus dem Teslapole positive und negative Elektricität gleichzeitig auszuströmen, so zwar, dass die positive Ausstrahlung gewissermassen mantelförmig von der negativen umgeben wird.

(Diese mantelförmigen Entladungsvorgänge gelang es bei späteren Versuchen noch auf andere Weise experimentell nachzuweisen.)

Versuchsreihe mit ausgeschnittenen Platten.

l_1, l_2, l_3 sind drei nebeneinander ausgeführte Messungen und bedeuten für die Lage der Umkehrpunkte den Abstand Spitze-Platte in Millimetern; a stellt den Durchmesser der ausgeschnittenen Kreise in Centimetern dar:

Tabelle der Umkehrpunkte.

l_1	l_2	l_3	a	l_1	l_2	l_3	a
40	40	40	0	39	36	37	5
35	30	35	2	27	20	19	6
35	40	40	3	20	18	21	7
40	40	39	4	10	12	11	8

Wird der Ausschnitt grösser als 8 cm, so erhält die Platte überhaupt keine positive Ladung mehr.

Aus den vorliegenden Messungen ergiebt sich: Je grösser der Ausschnitt ist, um so näher rückt der Umkehrpunkt des Ladungssinnes an die Spitze heran bez. umgekehrt, je kleiner der Ausschnitt wird, desto weiter liegt der Punkt der ersten positiven Ladung von der Spitze ab.

Um in einfacher experimenteller Weise zur Erklärung dieser Erscheinungen weiteres Material zu bieten, wurde jetzt die Methode der Lichtenberg'schen Staubfiguren gewählt. Die weiter unten folgenden Versuche stiessen zuerst auf hartnäckige Schwierigkeiten, die vor allem dem hohen Feuchtigkeitsgrad der Luft von 60—72 Proc. durch die Nähe der Ostsee zuzuschreiben waren.

Zu Hülfe kam die Arbeit von K. Antolik,[1]) in der eine vorzügliche Methode zur Herstellung von Lichtenberg'schen Figuren beschrieben ist.

Als die Luft durch Annäherung der Wintermonate zum Experimentiren geeigneter wurde, gelang es auch in der einfachsten Weise solche Figuren herzustellen; doch ist ihr Charakter ein anderer, und es soll darum von diesen erst später die Rede sein.

1) K. Antolik, Zeitschr. f. phys. u. chem. Unterr. p. 5. 1891/92.

Es folgen zunächst Versuche nach der Methode von K. Antolik:

Ein grosser Glaskolben von 10 *l* Inhalt wurde mit warmem Wasser von ca. 60° C. gefüllt und isolirt auf einer Glasplatte vor die strahlende Spitze gesetzt. Hr. Antolik empfiehlt in seiner Arbeit, dem Kolben von innen her eine kleine elektrische Ladung zu geben, da dann die Figuren in viel grösseren Dimensionen und ausgesprochener Schönheit zu stande kommen.

Die Versuchsanordnung war nun etwa die folgende (Fig. 5):

Mit einer Influenzmaschine *J* wurde unter Zwischenschaltung eines Funkenmikrometers *F* eine bestimmte abgezählte Funkenzahl durch eine eingelegte Messingkette *K* in das

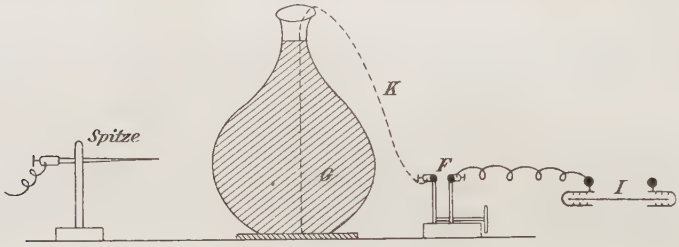


Fig. 5.

Innere des Kolbens *G* abgegeben. Durch die Innenladung wirkte der Kolben wie ein Condensator. Zur Erzielung von guten brauchbaren Figuren ist es nötig, den Kolben vor jeder Bestäubung sorgfältig mit Alkohol zu reinigen.

Da ein Fixiren der Figuren in der sonst üblichen, wohl zuerst von v. Bezold angegebenen Weise des Abklatschens mit schwarzem Seidenpapier, welches mit Gummilösung bestrichen wird, durch die Kugelform des Kolbens unmöglich gemacht war, und zur Herstellung einer fortlaufenden Serie von Lichtenberg'schen Figuren in verschiedenem Spitzenabstande ein solches Fixiren notwendig wurde, musste zur photographischen Methode geschritten werden.

Um das auf einem gewöhnlichen blanken Glaskolben sich stets bildende Spiegelbild zu entfernen, musste der Kolben auf einer Hälfte durch Schleifen mittels Schmirgels mattirt werden. Dem blossen Auge am deutlichsten sichtbar werden die

Lichtenberg'schen Figuren auf dem Glaskolben, wenn das Wasser in ihm leicht gefärbt wird, etwa mit einigen Tropfen Tinte. Bei der photographischen Aufnahme zeigte sich aber, dass das Rot der aus dem Schwefel-Mennigepulver erhaltenen Figuren auf die photographische Platte wenig einzuwirken vermag; aus diesem Grunde wurde daher der Kolben mit etwas Milch weiss gefärbt, sodass sich das Rot auf dem weissen Untergrunde etwas kräftiger abheben konnte. Zum Bestäuben wurde Schwefel-Mennigepulver zu gleichen Teilen angewendet, mit diesem wurden zweifellos die besten Resultate gewonnen, nachdem auch das Dreipulvergemisch, angegeben von Hrn. A. Bürker[1]), ausprobirt worden war. Für die einzelnen Aufnahmen war es notwendig, dass der Kolben vom photographischen Apparat eine constante Entfernung hatte, um einen Vergleich der Dimensionen der einzelnen Figuren zu ermöglichen. Dies wurde so erreicht, dass der Kolben in eine dem Apparat gegenübergestellte Holzecke geschoben wurde.

Die Lichtenberg'schen Figuren wurden nun in einer fortlaufenden Reihe von 2 zu 2 mm in folgender Weise hergestellt. Die Influenzmaschine wurde langsam angedreht, so dass jedesmal 10 Funken von 10 mm Länge übergingen, dann wurde der Primärkreis der Teslaanordnung eingeschaltet, und 15 Secunden der Kolben der Spitzenstrahlung ausgesetzt. Bei der Ladung mit der Influenzmaschine ist *wohl* darauf zu achten, dass sich die Maschine nicht während einer Versuchsdauer umladet, da dies eine Störung in dem Charakter der Figuren hervorrufen kann. Jetzt erfolgte das Bestäuben mit Schwefel-Mennigepulver, nachdem jedesmal das Innere des Kolbens mit der Hand durch Berührung der Kette zur Erde abgeleitet war. Nach 1 bis 2 Minuten wurde dann der Kolben vor den Apparat gesetzt und die Aufnahme erfolgte.

Nach einigen misslungenen Versuchen kam man empirisch dazu, mit dem Fortnehmen des Kolbens nach der Bestäubung einige Zeit zu warten, da dann das Pulvergemisch besser anzuhaften scheint.

Die folgenden Figuren zeigen solche Aufnahmen: Fig. 6 in 0 mm, Fig. 7 in 2 mm Abstand Spitze-Kolben. Der innere

1) A. Bürker, Ann. d. Phys. **1.** p. 474. 1900.

Kranz positiven Charakters war prächtig ausgebildet, in Kreisform herum sind deutlich negative Ringe sichtbar. Die offenbar negativen Scheiben im Innern des positiven Kranzes rühren wohl vom directen Funkenspiel her, denn sie verschwinden, sobald dieses erlischt (vgl. auch Figg. 12—19).

Weitere Beispiele für eine solche Serie sind in Figg. 12—23 bei wachsendem Abstande gegeben. Ihre Herstellung geschah

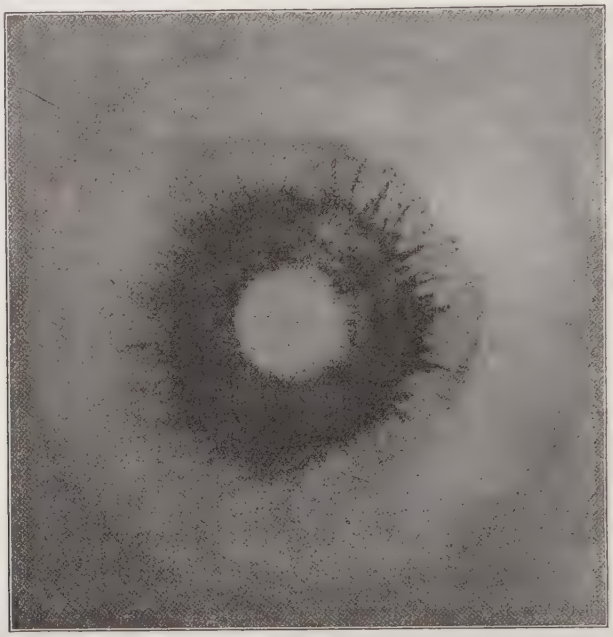


Fig. 6.

aber ohne Glaskolben und wird erst weiter unten beschrieben (vgl. p. 18).

Auf der jetzt folgenden Skizze findet man eine solche Serie von Figuren in ihren Umrissen aufgetragen. Der grosse Halbkreis deutet in $\frac{1}{2}$ Naturgrösse hierbei den Kolben an, während die einzelnen Curven, $a\,b$, $a\,c$, $a'\,b'$, $a'\,c'$ etc. immer die Verbindung der strahlenden Spitze mit dem Durchmesser der negativen Kreise $b\,c$, $b'\,c'$ etc. der Lichtenberg'schen Figuren bilden (vgl. Fig. 8). Die Lage der strahlenden Spitze

wird durch die Punkte a, a^1, a^2 etc. gegeben; die Spitze ist dabei immer um die passende Millimeterzahl verschoben gedacht.

Die Ausstrahlung der Spitze bildet also einen Kegel, dessen Winkel immer stumpfer wird, je mehr man der Spitze einen Gegenstand nähert. Dabei scheint auf der glatten Oberfläche des Kolbens ein Gleiten der Entladungserscheinungen vor sich

Fig. 7.

zu gehen, so zwar, dass der Strahlenkegel sich gewissermassen an die Wandung des Kolbens anzuschmiegen sucht, denn selbst eine Tangente, an die Kugelschale gelegt, würde z. B. von a^3 nicht den Punkt b^3 treffen können.

Unter der Kugelschale in Fig. 8 sind die Durchmesser der auf dem Kolben erhaltenen Lichtenberg'schen Figuren durch parallele Gerade dargestellt, deren Abstand voneinander dem zugehörigen Spitzenabstand entspricht. Die Endpunkte der Geraden sind durch eine Curve verbunden, die bei ca. 15 mm

Spitzenabstand ein Maximum erreicht, welches beim Abklingen des directen Funkenspieles eintritt; nach diesem findet eine fortschreitende Zunahme der Dimensionen der Figuren statt, denn nach 40 mm Spitzenabstand war der äussere negative Kreis nicht mehr auf dem Kolben sichtbar.

Je weiter man den Kolben von der Spitze entfernt, desto mehr scheint der ausstrahlende Kegel sich symmetrisch nach

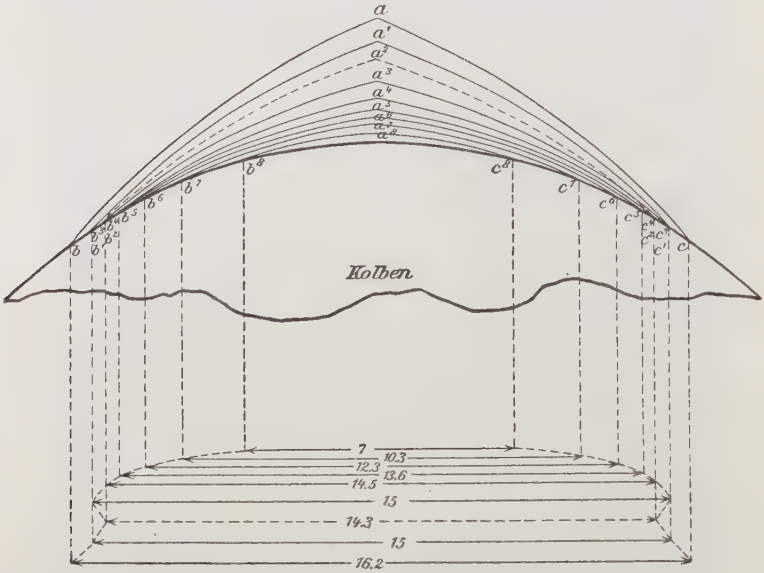


Fig. 8.

beiden Seiten auszubreiten. Hr. Warburg hat in einer jüngst erschienenen Arbeit[1]) auf diesen Strahlungskegel bei statischer Spitzenstrahlung hingewiesen, er sagt dort: „Bei der Spitzenstrahlung ist das Stromgebiet nahezu ein Kegel, dessen Spitze in der geladenen Spitze liegt . . .“

Einen Versuch, den Strahlungskegel auf directem Wege zu fixiren, um eventuell auch bei ganz freier Strahlung mit seinem Winkel bekannt zu werden, findet man in der folgenden Fig. 9.

---

1) E. Warburg, Ann. d. Phys. **2.** p. 295. 1900.

Hier wurde die ausstrahlende Spitze unmittelbar vor die photographische Camera gesetzt und nachdem die Funkenstrecke absolut abgedunkelt war, exponirt. Das Bild zeigt die Strahlungsspitze mit einem Lichthauch umgeben, aus dem heftige Büschelentladungen stattfinden; am äussersten Teil der Spitze sieht man den Strahlungskegel unter einem Winkel von ca. 120° deutlich ansetzen.

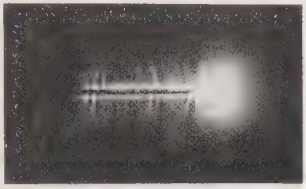


Fig. 9.

Bei den jetzt folgenden Untersuchungen wurde auf die Anwendung der Kolbenmethode verzichtet, und eine auf der Rückseite mit Stanniol belegte, sauber polirte Hartgummiplatte benutzt. Zu diesen Versuchen gehören die Figg. 10 u. 11, Figg. 12—23 und Fig. 25.

In ähnlicher Weise wie mit dem Kolben wurden die Figg. 10 u. 11 gewonnen, indem nämlich die Rückseite der Hartgummiplatte, also die Stanniolbelegung, mit Hülfe der Influenzmaschine und einer dazwischen geschalteten Funkenstrecke mit einer leichten Ladung versehen wurde. In den hier erhaltenen Figuren konnte nichts Neues gefunden werden, nur dass auf dem Glaskolben die Figuren schöner und regelmässiger erschienen waren. Im übrigen findet bei der angewendeten Vergrösserung des Abstandes von 4 zu 4 mm Spitze-Hartgummiplatte ebenfalls eine allmähliche Zunahme der Dimensionen der Figuren statt; diese Figuren wurden mit schwarzem Seidenpapier abgeklatscht, und sind wohl deshalb interessant, weil sie leidlich die Farben der so entstandenen Figuren zeigen.

Frühere Versuche ohne die Ladung mit der Influenzmaschine auf einer Hartgummiplatte auch in weiterem Abstande Spitze-Platte Lichtenberg'sche Figuren zu erhalten, waren fehlgeschlagen, doch kam die trocknere Jahreszeit zu Hülfe, um auch diese Versuche gelingen zu lassen.

Hr. Himstedt hat in seiner Arbeit[1]) wohl solche Versuche schon gemacht, da er dort angiebt:

1) F. Himstedt, Wied. Ann. **52.** p. 481. 1894.

„Erzeugt man Lichtenberg'sche Figuren mit dem Pole eines Inductoriums, so erhält man je nach dem benutzten Pole oder je nach der Stromrichtung positive oder negative Figuren. Bei der Teslaspule dagegen erhält man stets positive Figuren."

Fig. 10.

Die folgende Serie von Figuren (Figg. 12—23) zeigt, dass man ohne weiteres die Figuren nicht rein positiv nennen kann; die ersten Figuren beweisen vielmehr, dass aus einem Teslapole thatsächlich positive und negative Elektricität gleichzeitig ausströmt; die zuerst erhaltenen Figuren ähneln denjenigen, die man bei der oscillirenden Entladung einer Leydener Flasche

erhält, der man eine Spitze anhängt. Die Spitze wurde immer von 2 zu 2 mm weiter von der Platte entfernt und dann eine neue Figur gebildet; man erhält dann so lange den Charakter der oscillirenden Leydener Flaschenentladung, bis das directe

Fig. 11.

Funkenspiel aufhört und nur noch starke Büschelentladungen ausströmen; dann erst wird der Charakter der Lichtenberg'schen Figuren ein rein positiver; die folgenden Figuren zeigen ein langsames Abklingen der positiven Ladung.

Die Versuche, in weiterer Entfernung etwa nur negative Ladung zu erhalten, sind nicht sicher gelungen, da die Hart-

gummiplatte, ohne Ladung mit Schwefel-Mennigepulver bestreut, fast dasselbe Bild zeigte, wie nach der Ladung.

Jedenfalls lässt sich aus diesen Versuchen der sichere Schluss ziehen, dass die positiven Ladungen auf der früher be-

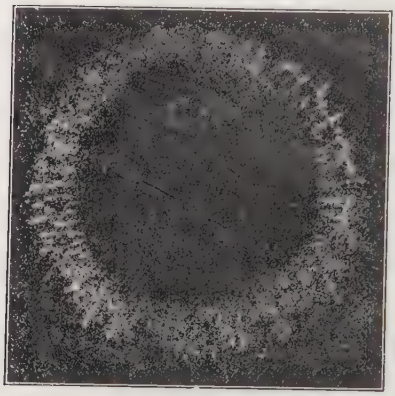


Fig. 12. 0 mm.

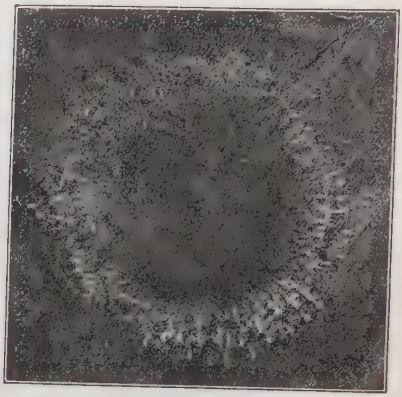


Fig. 13. 2 mm.

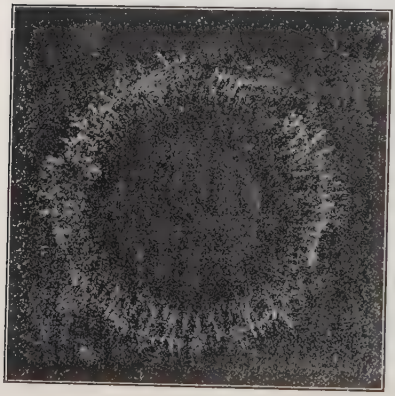


Fig. 14. 4 mm.

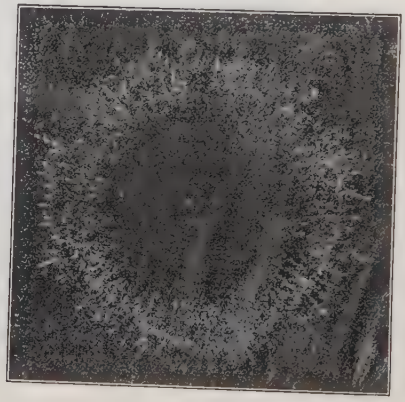


Fig. 15. 6 mm.

nutzten Metallplatte nur durch die Büschelentladungen erhalten wurden; die gewonnenen positiven Figuren zeigen aber ausserdem, dass die positive Elektricität in der Verlängerungslinie der Spitze am kräftigsten zu wirken vermag, da in dieser Richtung noch positive Ladungsteilchen auf die Platte gelangen,

während für die nicht centralen Teilchen die Kraft zur Erreichung der Hartgummiplatte nicht mehr auszureichen scheint.

Diese Versuchsresultate stehen in gutem Einklange mit

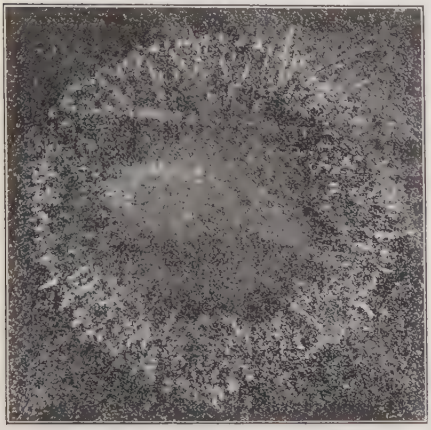


Fig. 16. 8 mm.

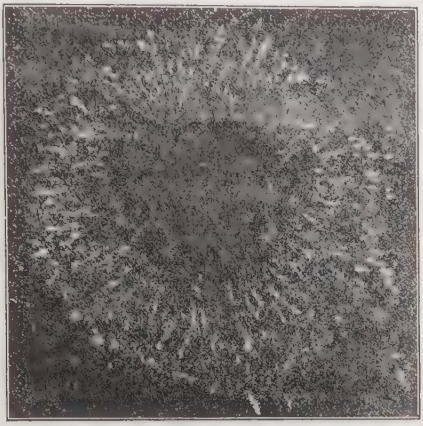


Fig. 17. 10 mm.

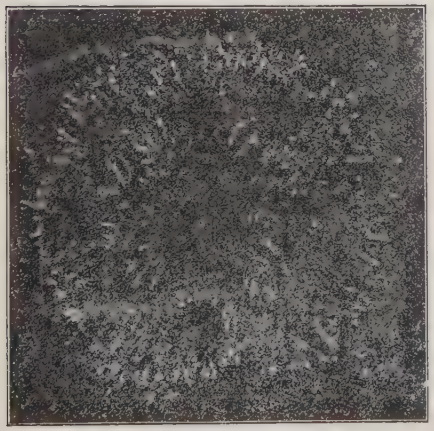


Fig. 18. 12 mm.

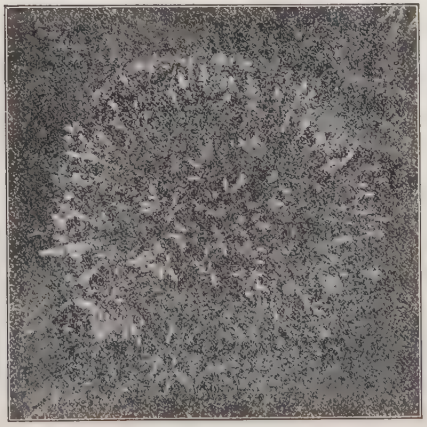


Fig. 19. 14 mm.

denen, die früher erhalten wurden mit den ausgeschnittenen Platten, bei denen bei kleiner werdendem Innenkreis der Punkt der ersten positiven Ladung sich immer weiter von der Spitze entfernt.

Das Bild einer strahlenden Teslaspitze muss man sich nach den vorliegenden Experimenten etwa, wie Fig. 24 zeigt, vorstellen.

Die positive Ausstrahlung, in der Figur durch stärkere Linien markirt, klingt nach den Seiten zu allmählich ab und

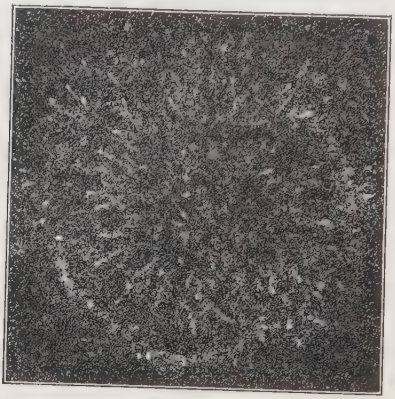


Fig. 20. 16 mm.

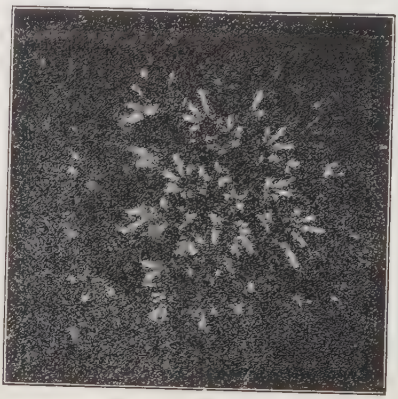


Fig. 21. 18 mm.

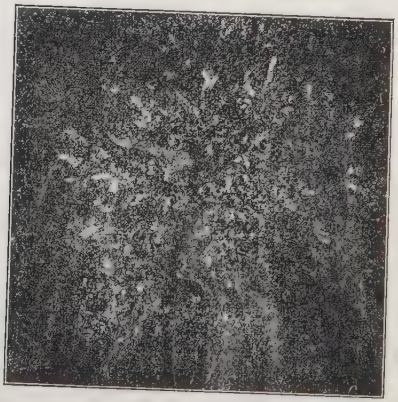


Fig. 22. 20 mm.

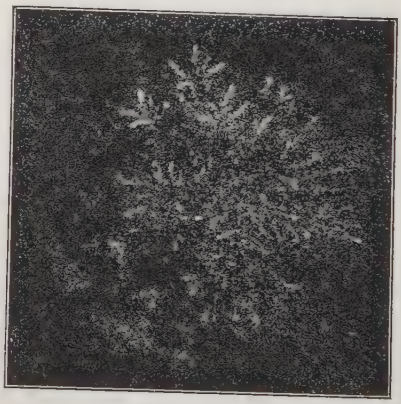
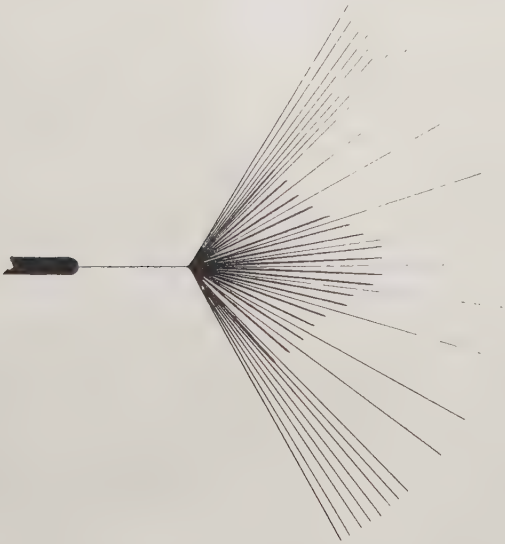


Fig. 23. 22 mm.

zeigt ihr Maximum in der Verlängerungslinie der Spitze bei ca. 40—42 mm Abstand; dem gut im Dunklen ausgeruhten Auge ist die positive Büschelentladung sichtbar; die negative Ausstrahlung gruppirt sich in der Hauptsache um die positive herum, bleibt zwar dem Auge unsichtbar, wirkt aber noch auf

eine vor die Spitze gesetzte Metallplatte in einem Abstand vom 75—100 cm.

In Fig. 25 ist eine Lichtenberg'sche Figur von ausgesprochener Schönheit in $^1/_2$ Naturgrösse gezeigt; diese entstand dadurch, dass der leerlaufende Teslapol mit der Stanniolbelegung der Hartgummiplatte verbunden wurde, während der andere Pol an die etwa 1 cm davon entfernte, isolirt aufgestelte Spitze geführt wurde; interessant ist es, dass die Charakteristik dieser Figur der von Fig. 12 entspricht.



——— positive Entladung — negative Entladung

Fig. 24.

Um die Gleichzeitigkeit der positiven und negativen Ausstrahlung zu zeigen, hat Hr. Himstedt in seiner Arbeit[1]) der ausstrahlenden Spitze gegenüber eine isolirte Metallplatte von 20 cm Durchmesser aufgestellt, die mit einem Ausschnitt versehen war. Hinter dieser Metallplatte stellte er eine zweite auf; ihre Abstände liessen sich dann, wie auch eigene Versuche zeigten, so reguliren, dass die erste Scheibe positive, die zweite negative Ladung erhält.

1) F. Himstedt, l. c. 68. p. 300. 1899.

Da es mir nun gelang, eine solche mit einem Ausschnitt versehene Platte in jeder Entfernung nur mit negativer Ladung zu versehen, so müsste in diesem Fall eine hinter der ersten stehende zweite isolirte Platte von den Büschelentladungen der Spitze getroffen werden und positive Ladung zeigen; diese Ver-

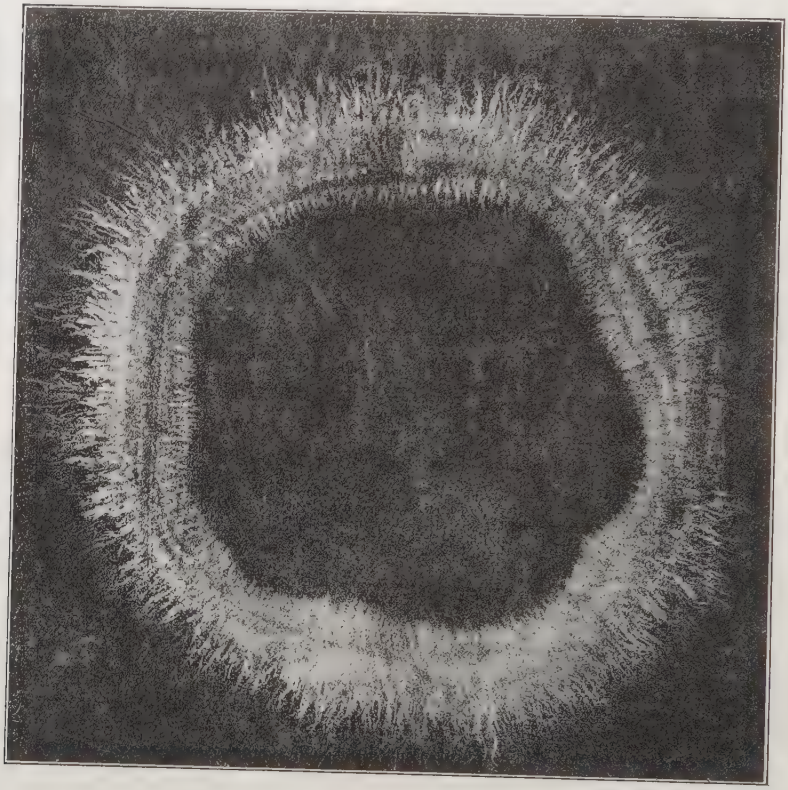


Fig. 25.

suche gelangen nicht, selbst bei Anwendung von noch grösseren Ausschnitten. Man muss nämlich, um der Platte positive Ladung zu erteilen, diese auf mindestens 40 mm der Spitze nähern; es erhielt dann aber auch die erste Platte positive Ladung, da ja der Strahlungswinkel bei Annäherung einer Platte stumpfer wird, und so die erste Platte ebenfalls treffen muss.

In der That wird wohl, wie Hr. Himstedt weiter in seiner Arbeit ausführt, die negative Elektricität sich weiter in den Raum fortzupflanzen vermögen wie die positive; ob dies aber in der Verschiedenheit ihrer Fortpflanzungsgeschwindigkeiten oder an dem Charakter der Ausströmungserscheinungen selbst liegt, scheint mir nur noch eine offene Frage zu bleiben.

Versuche, das sichtbare Strahlenbündel mit Hülfe eines kräftigen elektromagnetischen Feldes abzulenken, um eventuell auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten schliessen zu können, sind nicht gelungen. Um eine Ablenkbarkeit zu erhalten, müssten die Strahlen etwa durch zwei hintereinander aufgestellte Blenden geführt werden, wie bei den entsprechenden Versuchen mit Kathoden- und Becquerelstrahlen verfahren wurde; dies gelang nicht, andererseits gelangen auch Versuche nicht mit Lichtenberg'schen Figuren, die ihre Form durch das einwirkende Magnetfeld verändern könnten.

Kurze Uebersicht der Hauptresultate.

1. *Eine Teslaspitze* hat kein constantes Potential, wenn man ihr in variirtem Abstande eine Metallplatte gegenüberstellt. Ihre Maximalspannung zeigt sie in dem Augenblick, in dem das directe Funkenspiel Spitze-Platte abklingt; kurz darauf wird das Potential erst constant.

2. *Das Potential* der der Spitze gegenüberstehenden Metallplatte erhält seinen Maximalwert an gleicher Stelle.

3. *Die positive Ladung,* welche die einer Spitze gegenübergestellte Platte erhält, stammt aus den sichtbaren Büschelentladungen der Spitze.

a) Verhindert man das Auftreffen dieser Büschelentladungen auf die Platte dadurch, dass man die Platte in geeigneter Weise ausschneidet, so lässt sich dieselbe selbst in nächstem Abstande niemals mit positiver Ladung versehen.

b) Die Figg. 12—23 zeigen, dass, solange auf eine Hartgummiplatte von der Spitze Büschelentladungen auftreffen, sich positive sternförmige Lichtenberg'sche Figuren ausbilden.

4. *Eine Teslaspitze* strahlt positive und negative Elektricität gleichzeitig aus.

a) Beim Funkenspiel Spitze-Platte bilden sich Lichtenberg'sche Figuren aus, die den Charakter einer oscillirenden Leydener Flaschenentladung haben, die negative Ladung befindet sich flächenförmig in der Mitte, während sich die positive sternförmig um diese gruppirt.

b) Stellt man nach Himstedt eine mit einem Ausschnitt versehene Platte so auf, dass sie positive Ladung erhält, und eine zweite in regulirtem Abstande hinter diese, so erhält diese negative Ladung.

5. *Die Ausstrahlung* aus der Spitze geschieht in Form eines Kegels, dessen äusserer Mantel ausschliesslich negative Elektricität und dessen Inneres vorwiegend positive Büschelentladungen enthält.

(Hierbei ist wohl zu beachten, dass diese Thatsache nur für die Strahlung gilt, nicht aber für die directen Funkenentladungen.)

6. *Der Winkel*, den die strahlende Elektricität bildet, vergrössert sich bei Annäherung einer Platte, er beträgt bei freier Strahlung in Luft ca. 120°.

7. *Die positive Elektricität* scheint in der Verlängerungslinie der Spitze am kräftigtsten zu wirken, da die letzten positiven Ladungen auf der Hartgummiplatte sich dicht um diese gruppiren. Vgl. Fig. 24.

Am Schlusse danke ich herzlichst sowohl meinem hochverehrten Lehrer Hrn. Prof. Dr. Wachsmuth für die Anregung zu dieser Arbeit und viele wertvolle Ratschläge, als auch dem Director des physikalischen Institutes Hrn. Prof. Dr. Matthiessen für das freundliche Interesse, das er mir stets entgegengebracht hat.